

立命館大学理工学部
立命館大学大学院
京都大学大学院地球環境学堂
立命館大学理工学部
京都大学大学院地球環境学堂

学生員 ○吉川 雅美
学生員 石森 洋行
正会員 勝見 武
正会員 深川 良一
フェロー 嘉門 雅史

1. はじめに

地下水揚水処理は汚染物質を確実に回収できるという点で有効な処理技術であり、広く適用されている。しかし、条件によっては浄化目標に達するのに長時間を要し、所定の浄化効率を得られない等の問題点を有することが指摘されている。特に不均質地盤の場合、帯水層部分の汚染物質を効率的に回収できたとしても、難透水層中にしみ込んだ汚染物質を取り除くことは困難であると言われている¹⁾。一方、難透水性地盤にはそもそも汚染物質が浸透しにくいと考えられることから、本研究では難透水性地盤への浸透に影響を及ぼすと考えられる汚染期間と、粘土層の形状や透水係数が揚水処理に及ぼす影響を、水溶性物質の移流と分散のみを考慮した数値解析によって検討した。

2. 解析条件

粘土層から流出する汚染物質の浸出特性を解明するために、鉛直二次元飽和定常流・移流分散解析を実施した。解析には、“Dtransu-2D・EL”を用いた。解析断面は流下方向に長い半無限地盤を想定し、縦 10 m×横 3000 m の飽和地盤の一部に、左端 ($x = 0$) から 15 m の鉛直方向中央部に粘土層を配置した。解析断面を図-1 に、解析における物性パラメータを表-1 に示す。移流分散解析は、汚染期間である STEP 1 と、浄化期間(揚水期間)である STEP 2 を連動させて行った。STEP 1 では解析領域左端より動水勾配 1/150 を与えて濃度 100 ppm の汚染地下水を 5 年間流した。STEP 2 では、STEP 1 の解析結果を初期条件として、左端より動水勾配 1/100 をもって 0 ppm の清浄な地下水を流し、揚水処理を模擬した。

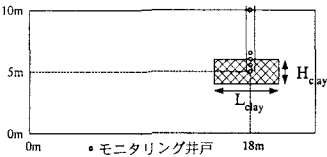


図-1 解析断面

粘土層の透水係数比を $k_r = 0.001 \sim 1$ 、厚さを $H_{clay} = 1 \sim 2$ m、幅を $L_{clay} = 5 \sim 15$ m、汚染期間を 0~10 年と変化させ、粘土層内に蓄積された汚染物質の浸出挙動を評価した。なお、透水係数比 k_r は粘土層と周辺地盤の透水係数の比である。

表-1 解析地盤と汚染物質の物性パラメータ

	砂地盤	粘土地盤
透水係数 (cm/s)	5.0×10^{-9}	$k_r \times 5.0 \times 10^{-9}$
有効間隙率	0.3	0.3
縦分散長 (m)	10.0	10.0
横分散長 (m)	1.0	1.0
分子拡散係数 (cm ² /s)	1.0×10^{-9}	1.0×10^{-9}

3. 解析結果

3.1 浸入特性評価

粘土層内に浸入する汚染物質の浸入量に対する、粘土層厚さ・幅および透水係数の影響を図-2~図-4 に示す。なお縦軸は、粘土層内に含有される汚染物質の質量を、粘土層内の汚染物質濃度が全て 100 ppm のときの質量で除した値を示している。粘土層の厚さに関しては、厚さが小さいほど汚染は早く飽和状態になる。これは、粘土層の厚さが小さいほど粘土層内の流速が大きくなることが要因であると考えられる。幅の影響については、粘土層幅 15 m の場合でも約 0.3 年で粘土層内を通過す

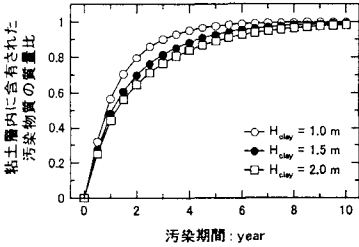


図-2 粘土層への汚染物質の浸入量に対する粘土層厚さの影響($k_r = 0.001$, $L_{clay} = 5$ m)

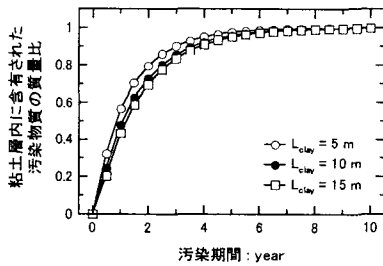


図-3 粘土層内への汚染物質の浸入量に対する粘土層幅の影響($k_r = 0.001$, $H_{clay} = 1$ m)

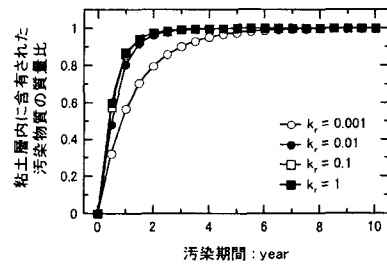


図-4 粘土層内への汚染物質の浸入量に対する透水係数の影響($H_{clay} = 1$ m, $L_{clay} = 5$ m)

るため、汚染物質の浸入の挙動に大差がでないと推察される。透水係数比は $k_r = 0.01$ 以上であれば、汚染物質の挙動はほぼ同じと考えられる。

3.2 粘土層周辺地盤におよぼす影響

化学物質がトリクロロエチレンであると仮定し、図 1 に示すモニタリングポイントでの地下水環境基準値 0.01 ppm を満たすまでの時間を表-2 に示した。また透水係数比 0.001 の粘土層でのモニタリングポイントでの濃度経時変化を図-5 に示す。ただし、縦 1 m×横 5 m の粘土層を含む地盤を STEP1 で 5 年間汚染したことを初期条件とした。また、モニタリングポイントの位置は well 1 (18, 5), well 2 (18, 5.25), well 3 (18, 5.5), well 4 (18, 5.75), well 5 (18, 10) で、well 1～well 2 は粘土層内、well 3～well 5 は砂層内に存在する。

環境基準値以下となるまでに必要な時間は、透水係数比 0.01 以上の場合は透水係数比の影響をあまり受けない。一方、透水係数比 0.001 の粘土層では、粘土層と砂層に濃度差があるだけでなく、砂層間・粘土層間においても深さ方向に濃度差が生じていた。これは、移流に比べ拡散・分散の影響が卓越していることを表している。しかし、0.01 ppm となるまでの時間は、透水係数比 0.001 の粘土層 (well1～well2) では 10 年浄化を行っても環境基準値を満たさないのに対し、砂層 (well3～well5) では透水係数比 0.01 以下の砂層より 1 年長くなるだけである。つまり、透水係数比が 0.001 より小さければ、粘土層内に汚染物質が蓄積していても、粘土層周辺部に浸出する量はわずかであるので、揚水処理に及ぼす影響は少ないものと考えられる。

3. 結論

砂地盤よりも透水係数が著しく低い粘土層が存在すると、粘土層内では拡散による物質挙動が卓越する。その結果、揚水処理により砂層内の汚染物質は回収できるが、粘土層内には長期に溶解汚染物質が残留する。粘土層内に移流がより生じにくい条件であれば、粘土層への汚染物質の浸透と再拡散の影響はより卓越すると考えられる²⁾。

参考文献

- 1) USEPA(1997): Design Guidelines for Conventional Pump-and-Treat Systems, EPA/540/S-97/504
- 2) 勝見 武・吉川雅美・石森洋行・深川良一・嘉門雅史 (2004) : 汚染地下水の揚水処理に及ぼす粘土層の影響評価、第 39 回地盤工学研究発表会 (投稿中)。

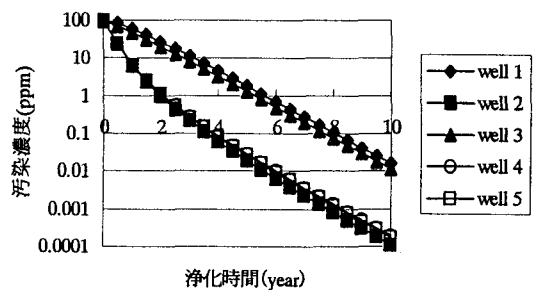


図-5 濃度経時変化(解析条件: 汚染 5 年、縦 1 m×横 5 m 透水係数比 0.001 の粘土層)

表-2 環境基準値(0.01 ppm)を満たすのに必要な時間 (年)

観測位置 透水係数比	(18, 5) well1	(18, 5.25) well2	(18, 5.5) well3	(18, 5.75) well4	(18, 10) well5
0.001	10 以	10 以上	5.8	5.8	5.5
0.01	5.0	5.0	4.8	4.8	4.8
0.1	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8
1	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8